

И. К. Котова¹, С. Р. Котов², Е. П. Каюкова¹, Л. В. Мордухай-Болтовская¹

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ ПЕЛОИДОВ СОВРЕМЕННЫХ СОЛЯНЫХ ОЗЕР

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,

Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Бременский университет, Германия, 28359, Бремен, Библиотекштрассе, 1

В работе приводятся и анализируются минералогические, геохимические, гранулометрические характеристики донных отложений Мертвого моря и соляных озер Крымского полуострова для выявления геологических и антропогенных аспектов, влияющих на их состав. Показано, что региональные геологические условия определяют существенно сульфатный минерально-солевой тип и химический состав пелоидов крымских соляных озер и хлоридно-карбонатный минерально-солевой тип и хлор-кальциевый состав пелоидов Мертвого моря. Установлено, что локальные геологические факторы влияют на геохимические и гранулометрические характеристики пелоидов: состав и геохимическая специализация окружающих пород обеспечивают Cu—Rb—Zn—Mo—Ca—Cl ассоциацию в пелоидах Мертвого моря и Fe—V—Mn—Co—Y—Pb ассоциацию в глинах некоторых крымских озер; условия залегания грязевого слоя влияют на гранулометрические характеристики пелоидов.

Антропогенное воздействие проявилось в характеристиках пелоидов некоторых соляных озер Крыма. Экстремально низкое содержание солей (галита) и солеобразующих элементов (Cl, S) в глинах озера Кучук-Аджиголь вызвано его загрязнением бытовыми и техногенными сточными водами. Грубый размер частиц пелоидов озера Саки обусловлен длительной эксплуатацией грязевых отложений озера. Разработка железорудного карьера и работа железорудного предприятия вблизи озера Тобечик привели к промышленному загрязнению грязей этого озера мышьяком, марганцем, железом. Библиогр. 23 назв. Ил. 8. Табл. 1.

Ключевые слова: крымские соляные озера, Мертвое море, пелоиды, донные отложения, антропогенное воздействие.

I. K. Kotova¹, S. R. Kotov², E. P. Kayukova¹, L. V. Mordukhai-Boltovskaya¹

THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON COMPOSITION OF PELOIDS IN MODERN SALT LAKES

¹ St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² Universität Bremen, 1, Bibliothekstraße, Bremen, 28359, Germany

Mineralogical, geochemical, and granulometric characteristics of bottom sediments of the Dead Sea and Crimean salt lakes are analyzed to identify geological and anthropogenic aspects affecting their composition. Regional geological conditions determine a significantly sulphate mineral-salt type and chemical composition of peloids of Crimean salt lakes, and chloride-carbonate mineral-salt type and chlorine-calcium composition of the Dead Sea peloids. Local geological factors influence the geochemical and particle size characteristics of peloids: composition and geochemical specialization of surrounding rocks provide a Cu—Rb—Zn—Mo—Ca—Cl association in peloids of the Dead Sea and Fe—V—Mn—Co—Y—Pb association in the mud of some Crimean lakes and bedding conditions of the mud layer affect the granulometric characteristics of peloids.

The anthropogenic impact is manifested in the characteristics of peloids in some salt lakes of the Crimea. Extremely low contents of salts (halite) and salt-forming elements (Cl, S) in the mud of Lake Kuchuk-Adzhigol is caused by its pollution and man-made wastewater. Coarse particle size of peloids of Saki Lake is caused by long-term use of mud sediments. The development of an iron ore mine and factory near Lake Tobechik led to the industrial pollution of the lake mud by arsenic, manganese and iron. Refs 23. Figs 8. Tables 1.

Keywords: Crimean salt lakes, the Dead Sea, peloids, lake sediments, anthropogenic factors.

1. Введение

Пелоиды (лечебные грязи) — это преимущественно осадки современных соляных озер и продукты извержения грязевых вулканов. Они издавна используются для оздоровления и лечения многих заболеваний опорно-двигательной и нервной системы, часто применяются в комплексе с минеральным рассолом соляного озера (рапой). Тонкодисперсная структура, однородность, пластичность, гидрофильность, высокая теплоемкость, минеральный и микроэлементный состав пелоидов обеспечивают их лечебные свойства. Для созревания и существования грязевых залежей крайне важна рапа. Химический состав и степень минерализации рапы влияют на процессы грязеобразования. Высыхание водоема вследствие испарения провоцирует физико-химические процессы в грязевой залежи, приводящие к потере лечебных свойств.

В печати широко обсуждаются органолептические, физико-химические и санитарно-микробиологические показатели пелоидов — они во многом определяют качество лечебных грязей [1–3]. Существенно меньше публикуется информации о пелоидах как геологическом объекте, в частности, об их минералогических и геохимических характеристиках. Однако очевидно, что эти характеристики влияют на свойства пелоидов. В известных публикациях данные о минеральном составе пелоидов соляных озер отсутствуют, а сведения о геохимических особенностях ограничиваются перечнем присутствующих в грязях отдельных микроэлементов. Фундаментальные работы по исследованию крымских соляных озер проводились в середине XX в. [4]. Однако минералогия, геохимия, литология пелоидов этих озер до сих пор не изучены: в литературе нет каких-либо сведений по этим аспектам. Нами выполнены первые систематические исследования, чтобы восполнить этот пробел и выявить факторы, влияющие на формирование минерального и микроэлементного состава пелоидов.

Цель предлагаемой работы — выявить геологические и антропогенные факторы, влияющие на минералогические, геохимические и гранулометрические характеристики пелоидов соляных озер Крыма. Для сравнения изучались минеральные грязи Мертвого моря — крупнейшего и самого известного соляного озера, являющегося международным центром пелоидотерапии.

Геология и происхождение Мертвого моря и озер Крыма различны. При этом пелоиды и рапа этих объектов сходны по некоторым физико-химическим и бальнеологическим характеристикам: опыт такого сравнения приводится в публикации [5]. Сравнение минералогических и геохимических характеристик пелоидов Мертвого моря и озер Крыма позволило нам более отчетливо показать специфику геологических процессов, влияющих на состав пелоидов.

Крымский полуостров — один из регионов Земли с многочисленными современными соляными озерами. Среди них — как хорошо известные и активно эксплуатируемые в лечебных целях соляные озера, так и озера малоизвестные и малоперспективные. В последние десятилетия активно изучались бальнеологические свойства пелоидов двух озер — Саки и Чокрак [1, 2].

2. Общие сведения

2.1. Основные компоненты пелоидов. Основные компоненты пелоидов: *кристаллический скелет* (грубодисперсная фаза), *коллоидный комплекс* (коллоидно-мелкодисперсная фаза), *грязевой раствор* (жидкая фаза) [6, 7].

Кристаллический скелет представляет собой твердый каркас пелоида, состоящий из минеральных образований размером более 1 мкм (силикатные и алюмосиликатные фазы, кристаллы галита, гипса, карбонатов кальция и магния) и грубых органических остатков растительного и животного происхождения.

Коллоидный комплекс — тонкодисперсная часть грязи (частицы менее 1 мкм), состоит из взвеси и коллоидного раствора. Коллоидные системы лечебных грязей содержат органические вещества, органоминеральные соединения, неорганические формы железа, алюмосиликатные соединения, серу и др. Коллоидный комплекс обеспечивает гидрофильные и адсорбционные свойства лечебных грязей, их вязкость и пластичность. В коллоидном комплексе присутствует гидротроилит $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, который придает пелоидам черный цвет. Он образуется при восстановлении гидроокислов трехвалентного железа сероводородом (продуктом метаболизма сульфатредуцирующих бактерий).

Грязевой раствор — жидкая фаза пелоида, состоящая из рассола с растворенными в нем минеральными солями, органическими веществами и газами. Грязевой раствор лечебных пелоидов и рапа соляных озер обычно имеют родственный химический состав.

2.2. Район и объекты исследования. Основной район исследования — Крымский полуостров, на котором насчитывается несколько десятков соляных (или минеральных) озер. Они представляют большой интерес для химической промышленности, курортологии и рекреационных целей. Наиболее известны среди них — Саки и Чокрак. На грязевом курорте Саки до сих пор ведется добыча знаменитой крымской розовой соли [6]. В лечебных целях еще в древности использовалась грязь керченских соляных озер Чокрак (берег Азовского моря) и Кояш (берег Черного моря).

Наибольшее количество минеральных озер находится на Керченском полуострове, который располагается на востоке Крыма и соединяется с ним узким перешейком. Керченский полуостров входит в состав Керченско-Таманской альпийской складчатой области, расположенной в структурной седловине между горноскладчатыми сооружениями Горного Крыма и Большого Кавказа. Здесь развиты осадочные образования от палеогеновых до четвертичных, мощностью не менее 5 км [8, 9].

Олигоценовые и нижнемиоценовые породы (майкопская серия мощностью до 3 км) представлены пиритсодержащими бескарбонатными глинами, которые формировались в анаэробных глубоководных условиях. Среднемиоценовые породы — известняки, карбонатные брекчии и конгломераты с рассеянной вкрапленностью гипса и с обогащенными гипсом слоями, а в районе озера Кояш известно инфильтрационное месторождение серы [10]. Верхний миоцен сложен глинами и известняками общей мощностью до 250 м.

Наибольшая часть плиоценового разреза выполнена лагунными отложениями регионального киммерийского яруса. Это железистые песчаники и глины, с кото-

рыми связаны промышленные скопления оксидных и хлоритовых железных руд. Железистые породы киммерийского яруса развиты на юге и востоке Керченского полуострова: здесь известно железорудное месторождение Камыш-Бурун [11]. Часть изученных нами озер — Кояш, Марфовка, Ерофеевка, Тобечик, Ачи, Киркояш — расположены в районе проявления киммерийских отложений Керченского полуострова.

Четвертичные породы представлены морскими и континентальными фациями.

Первые описания соляных озер Крыма выполнены на французском языке П. С. Палласом в 1792 г. по результатам изучения физико-географических условий Тавриды [12]. На основе обширного фактического материала в 1795 г. был издан отчет на французском и русском языках, где впервые дано научное объяснение образованию солеродных озер Крыма и осадочной соли [13].

Крымские озера относятся к современным галогенсодержащим Черноморским бассейнам в составе Альпийско-Гималайского коллизионного пояса [8]. По происхождению озера соответствуют морским (Саки, Сасык, Ойбурское, Аджиголь, Кучук-Аджиголь, Тобечик, Кояш расположены вдоль берега Черного моря, Чокрак — на берегу Азовского моря) и континентальным (Ерофеевка, Марфовка, Киркояш, Ачи) [4, 6] (рис. 1).

Питание озер морского генезиса происходит за счет атмосферных осадков, фильтрации морской воды через пересыпи, притоков подземных вод. Как правило, озера морского генезиса расположены в устьях оврагов, по которым периодически осуществляется естественный сток осадков [6].

Озера континентального генезиса не имеют связи с морским бассейном. Они питаются атмосферными осадками водосборной площади и подземными водами. Дождевой сток и подземные воды, питающие соляные озера Крыма, обогащаются сульфат-ионом за счет олигоценовых и миоценовых пород. В целом, подземные воды, участвующие в питании соляных озер Крыма, разнообразны (пестрые) по



Рис. 1. Схема размещения объектов исследования

Слева — локализация крымских озер (I — Ойбурское, II — Сасык, III — Саки, IV — Ачи, V — Кучук-Аджиголь, VI — Аджиголь, VII — Ерофеевка, VIII — Марфовка, IX — Кояш, X — Киркояш, XI — Тобечик, XII — Чокрак), * — карьер месторождения Камыш-Бурун и железорудный комбинат; справа — точки опробования вдоль берега Мертвого моря.

ионному составу и степени минерализации, среди них известны минеральные источники (углекислые, азотные, сероводородные, метановые) [6].

Морские озера не пересыхают даже в засушливое время года, но рапа в некоторых из них отходит от берегов на расстояние до 1 км. Континентальные озера расположены в центральной части Керченского полуострова, в засушливые месяцы они часто полностью пересыхают.

Мертвое море соответствует тектоническому озеру в структуре сдвигового типа [8], локализовано в пределах Иорданского грабена, являющегося продолжением межконтинентального рифта Красного моря.

Иорданская долина возникла в эпоху нижнего миоцена (около 20 млн лет назад). «Дограбеновые» комплексы пород сложены докембрийскими базальтами, гнейсами и кристаллическими сланцами, а также нубийскими песчаниками мелового возраста и карбонатными осадочными породами [14].

«Постграбеновые» комплексы пород начали формироваться в нижнем миоцене, одновременно с началом образования рифтовой зоны. Они представлены мергелями, известняками с мощными прослоями каменной соли и глинами [15]. Доля соляных отложений от общей массы пород, слагающих грабен, составляет примерно 77 % [16].

Формирование современного облика Мертвого моря началось примерно 15–18 тыс. лет назад. В этот период, благодаря активному испарению и восходящей разгрузке рассолов соляных толщ, пресноводное озеро превратилось в соляное [17]. Уровень Мертвого моря в четвертичное время подвергался весьма резким колебаниям. По некоторым данным, только за последние 100 лет амплитуда колебаний уровня составила примерно 25 м [18].

3. Методика опробования

На рис. 1 обозначены крымские соляные озера, из которых отобраны образцы пелоидов, и приведена схема точек опробования пелоидов Мертвого моря. Опробование соляных озер Крыма проводилось в последнюю декаду июня 2013 г. На побережье Мертвого моря (территория Израиля) полевые работы проводились в конце сентября 2013 г.

Грязи отбирались под слоем надгрязевого рассола на глубине 20–40 см от его поверхности, затем пластичная грязевая масса герметично упаковывалась в пластиковую емкость. На пересохших в момент опробования озерах верхний слой грязи (2–5 см) снимали и затем брали пробу. В большинстве случаев с каждого озера отбиралась одна грязевая проба в 3–5 м от береговой линии. На крупных озерах (более 500 м в поперечнике) отбиралось несколько проб по периметру озера (через 100–500 м).

Были изучены грязи 12 озер Крымского полуострова (рис. 1): Чокрак (4 пробы), Кояш (9 проб), Тобечик (9 проб), Киркояш (2 пробы), Марфовка (1 проба), Ерофеевка (1 проба), Аджиголь (1 проба), Кучук-Аджиголь (1 проба), Ачи (1 проба), Саки (1 проба), Сасык (1 проба), Ойбурское (1 проба) — всего 32 пробы. Изучен химический состав всех 32 проб, из них у 28 образцов определен минеральный состав, у 8 — выполнен гранулометрический анализ.

Отбор грязей Мертвого моря проведен в 4 точках вдоль его западного берега. Изучен химический и минеральный состав этих проб, выполнен гранулометрический анализ двух образцов.

4. Методы исследования

Рентгенофазовый анализ (РФА). Предварительно пробы грязей высушивались при температуре 40°C и измельчались до порошкообразного состояния.

Диагностика минерального состава иловых грязей выполнена методом порошкового рентгенофазового анализа (РФА) в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования». Условия съемки: автоматический порошковый дифрактометр MiniFlex II (Rigaku), Cu анод, напряжение трубки 30 кВ, ток трубки 15 мА, β -фильтр, высокоскоростной позиционно-чувствительный детектор DtexUltra (Rigaku), диапазон углов 2θ — 3–75°, шаг сканирования 0,02°, скорость съемки — 2 град/мин. Качественный фазовый анализ проводился в программе PDXL2 (Rigaku) с использованием порошковой базы данных PDF-2 (ICDD). Метод позволяет выявлять фазы, содержание которых в образце превышает первые проценты.

После первичной обзорной съемки на дифрактометре порошок промывали в дистиллированной воде для удаления водорастворимых солей. Далее исследуемый образец перемешивался с дистиллированной водой; после осаждения основной части более тяжелой фракции (кварц, полевые шпаты, карбонаты) оставшаяся тонкодисперсная взвесь высаживалась на стекло для получения ориентированных образцов, в которых определялись глинистые минералы. Дополнительная диагностика слоистых силикатов и алюмосиликатов проводилась в образцах, насыщенных этиленгликолем. В общей сложности данным методом изучено 28 проб.

Гранулометрический анализ. Гранулометрический состав десяти проб пеллоидов изучался методом лазерной гранулометрии (анализатор Fritsch Analysette22 Compact). Предварительная пробоподготовка не требовалась.

Рентгенфлюоресцентный спектральный анализ (РФСА). Химический состав грязей изучен методом рентгенфлюоресцентного спектрального анализа (РФСА) на анализаторе INOVOX по программе «Soil». Пробоподготовка для данного исследования не требовалась, так как иловые грязи представляют собой природный тонкодисперсный материал, готовый к анализу. От каждой пробы иловой грязи была взята навеска примерно 20 г, помещена в прозрачный пластиковый пакетик и просканирована анализатором.

Статистическая обработка данных. Проведена стандартная статистическая обработка данных и выполнен факторный анализ методом главных компонент с помощью пакета программ «STATISTICA 6.0». Это позволило выделить различные геохимические ассоциации, характерные для пеллоидов изученных озер. Очевидная сопряженность (связь) геохимических ассоциаций с минеральным составом грязей позволила интерпретировать полученные факторы в терминах геологических процессов. Статистическая обоснованность такой интерпретации (36 проб) вполне достаточна для начального исследования.

5. Факторы, влияющие на минеральный состав пеллоидов

В составе изученных иловых грязей выявлено две группы минералов (по результатам РФА):

- силикаты и алюмосиликаты — кварц, полевые шпаты ряда альбит-анортит, слюда (мусковит), хлорит, каолинит, смешанослойные образования (скорее всего, монтмориллонит);

— соли — *хлориды* (галит NaCl , бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, тахигидрид $\text{CaMg}_2\text{Cl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, карналлит $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), *сульфаты* (гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, бассанит $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, гексагидрит $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, глауберит $\text{CaNa}_2(\text{SO}_4)_2$, славикит $\text{MgFe}_3(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), *карбонаты* (кальцит CaCO_3 , доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, арагонит CaCO_3).

Установлено [19], что доли силикатных и алюмосиликатных фаз во всех изученных пробах сопоставимы, а доли разных солевых фаз, напротив, — широко варьируют в составе проб. Таким образом, именно солевая компонента грязей определяет специфику их минерального состава. Грязи изученных водоемов различаются по составу и соотношению хлоридов, сульфатов, карбонатов.

По минеральному составу солевых фаз выделяются грязи Мертвого моря, в которых доминирует кальцит, а хлоридные фазы, помимо галита, представлены бишофитом, тахигидридом, карналлитом. Для всех крымских озер в минеральном составе солевой компоненты грязей доминирует галит, который здесь является единственной хлоридной фазой.

По соотношению солевых минеральных форм выделены минерально-солевые типы грязей [19]. Состав солевой компоненты пелоидов Мертвого моря соответствует хлоридно-карбонатному типу; состав солевой компоненты пелоидов крымских озер преимущественно хлоридно-карбонатно-сульфатный и сульфатно-хлоридный (рис. 2). Таким образом, отчетливо проявилась сульфатная специализация пелоидов крымских озер по сравнению с пелоидами Мертвого моря. Кроме того, резко выделяются грязи озера Кучук-Адджиголь отсутствием хлоридов (галита) в их составе (см. рис. 2).

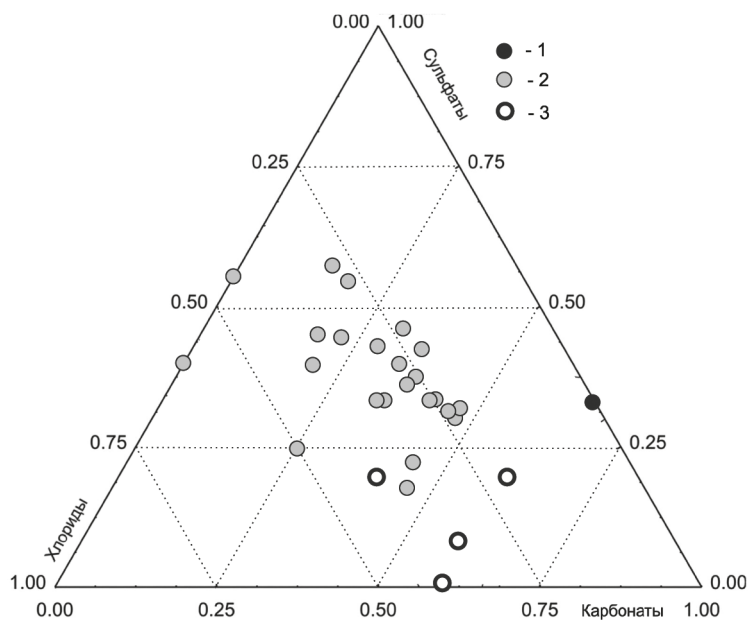


Рис. 2. Соотношение сульфатов, хлоридов и карбонатов в минерально-солевой компоненте пелоидов

Фигуративные точки на диаграмме: 1 — оз. Кучук-Адджиголь, 2 — прочие крымские соляные озера, 3 — Мертвое море.

Выявленные различия можно объяснить геологическими условиями развития соляных озер и антропогенным влиянием. Сопоставление указанных характеристик приводится в таблице.

Прежде всего, следует обозначить различие региональных геологических условий развития Мертвого моря и соляных озер Крыма: Мертвое море развивалось и существует в структуре молодого внутри-межконтинентального рифта, крымские соляные озера — в структурной седловине горных сооружений коллизионной альпийской складчатой области. Это обусловило различие геологических характеристик — разный состав главных источников питания соляных озер как следствие генезиса этих источников и состава пород в районе озерных котловин (см. таблицу).

Таблица. Минерально-солевой состав пелоидов в сравнении с геологическими и антропогенными характеристиками соляных озер

Объекты исследования	Геологические факторы			Антропогенные факторы	Минерально-солевой тип пелоидов
	Основные источники питания соляных озер	Состав окружающих пород	Состав вод, питающих озера	Опреснение озера бытовыми и техногенными сточными водами	
Озеро Кучук-Аджиголь	Атмосферные осадки и подземные воды; Черное и Азовское моря	Пиритсодержащие глины и гипсоносные известняки	Поверхностные и подземные стоки, обогащающиеся сульфат-ионом; морские воды	Поступают в озеро в течение многих лет	Бессолевые сульфатно-карбонатные
Прочие соляные озера Крыма				—	Хлоридно-карбонатно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, (хлоридно-карбонатные)
Мертвое море	Рифтогенные глубинные рассолы	Карбонатные и галитовые толщи	Хлор-кальциевые рассолы	—	Хлоридно-карбонатные

Так, один из основных источников питания Мертвого моря — глубинные рифтогенные хлор-кальциевые рассолы, разгрузка которых осуществляется по разломам во впадину Мертвого моря [20]. Состав этих рассолов формируется за счет карбонатных и галитовых толщ, в которых заложен грабен Мертвого моря. Очевидно, что хлоридно-карбонатный состав солевой компоненты пелоидов Мертвого моря обусловлен составом таких рассолов.

Основные источники питания крымских соляных озер — естественные стоки и подземные воды (а также морские воды для озер морского генезиса). Эти воды дренируют пиритсодержащие толщи и гипсоносные породы, что приводит к их обогащению сульфат-ионом. Как следствие — сульфатная специализация пелоидов озер, питающихся такими водами.

Аномальный минерально-солевой состав пелоидов озера Кучук-Аджиголь (отсутствие галита) связан, очевидно, с интенсивным опреснением озера за счет

бытовых и техногенных сточных вод. Загрязнение этого озера сточными водами обсуждается многие годы [21].

6. Факторы, влияющие на гранулометрические характеристики пелоидов

Изучен гранулометрический состав пелоидов шести озер Крыма (Кояш, Тобечик — по 2 образца, Саки, Аджиголь, Марфовка, Чокрак — по 1 образцу) и Мертвого моря — 2 образца. Полученные гранулометрические характеристики отражают вариации размеров минеральных частиц, слагающих кристаллический скелет пелоидов. Как показано выше, это частицы глинистой компоненты иловых грязей (терригенные) и солевой компоненты, т. е. кристаллы соли (хемогенные частицы).

Определены также частицы размером менее 1 мкм, что соответствует коллоидному комплексу пелоидов. (Минимальный установленный размер частиц в грязях практически всех озер составляет 0,3 мкм.) Показателем крупности частиц осадка в целом являются медианные значения: 50 % частиц осадка имеют размер меньше этого значения, 50 % — размер, превышающий медианное значение. Таким образом, чем больше медианное значение, тем в целом грубее иловый осадок.

Анализ полученных результатов показал, что основным геологическим фактором, контролирующим гранулометрические характеристики грязей, являются условия залегания грязевого слоя. Так, наиболее тонкие грязи отобраны в двух ситуациях (рис. 3, а, б): 1) с поверхности осадочного слоя, перекрытого рапой (медианный размер частиц — 3,9–5,5 мкм, максимальный — 25–30 мкм); 2) в отсутствие рапы с глубины 35–40 см от поверхности осадка (медианный размер частиц — 3,7 мкм, максимальный — 20 мкм). В обоих случаях обеспечиваются условия сохранности грязей: они защищены от засорения крупными механическими частицами и от испарения грязевого раствора.

«Грубые» пелоиды слагают грязевой слой, залегающий на поверхности и не перекрытый рапой: медианный размер частиц варьирует от 6,3 до 8,2 мкм, максимальный размер частиц — 45 мкм (рис. 3, в). В этом случае пелоиды не защищены от кристаллизации грязевого раствора вследствие его испарения и от засорения грубыми механическими частицами.

Под влиянием антропогенных факторов установленная зависимость нарушается. Так, пелоиды озера Саки, отобранные под слоем рапы, оказались «грубозернистыми» (медианный размер частиц — 8,2 мкм, максимальный — 45 мкм), (рис. 3, г). Полагают [22], что из-за длительной эксплуатации озера и искусственного изменения его очертаний изменился его гидрохимический режим, вследствие чего ил начал загипсовываться; это и способствует появлению многочисленных относительно крупных кристаллов гипса.

7. Факторы, влияющие на геохимические характеристики пелоидов

По результатам рентген-флуоресцентного спектрального анализа пелоидов рассчитаны статистические характеристики содержаний следующих химических элементов: S, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Cr, Mn, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Ba, Pb, Th, U [19]. Для сравнения объектов и интерпретации в качестве наиболее показательных здесь выбраны S, Cl, Ca, Cu, Zn, Rb, Mo, Fe, Mn, V, Co, Y, Pb (рис. 4, 5).

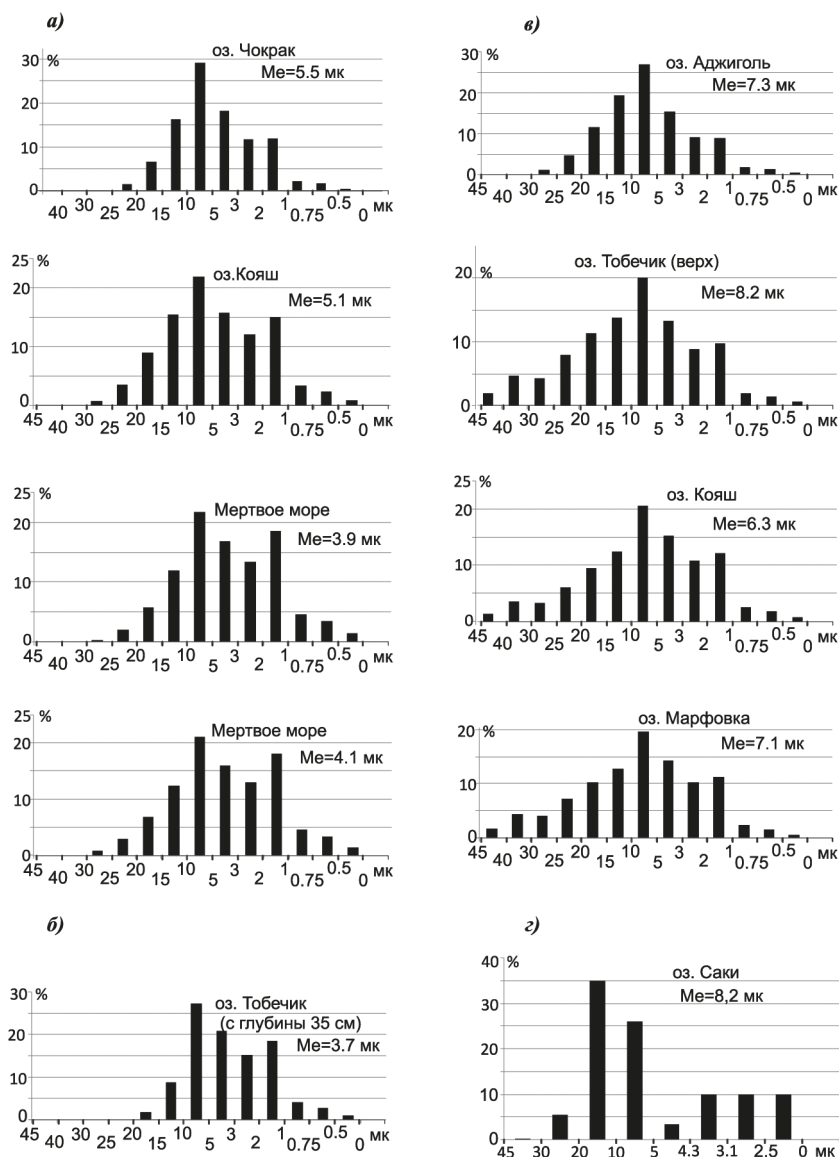


Рис. 3. Гранулометрические характеристики пелоидов

а — пелоиды, перекрытые надгрязевой рапой (Мертвое море, озера Чокрак, Кояш); б — пелоиды, отобранные с глубины 35–40 см в отсутствие рапы (оз. Тобечик); в — пелоиды поверхностного слоя, не перекрытого надгрязевой рапой (озера Аджиголь, Тобечик, Кояш, Марфовка); з — пелоиды оз. Саки.

Me — медианное значение; по горизонтальной оси — крупность класса, мкм; по вертикальной оси — выход класса, %.

В качестве основных объектов сравнения на рис. 4 и 5 выделены Мертвое море, озера западного побережья Крымского полуострова (Саки, Сасык, Ойбурское), а также озера Чокрак и Кояш как наиболее известные бальнеологические объекты

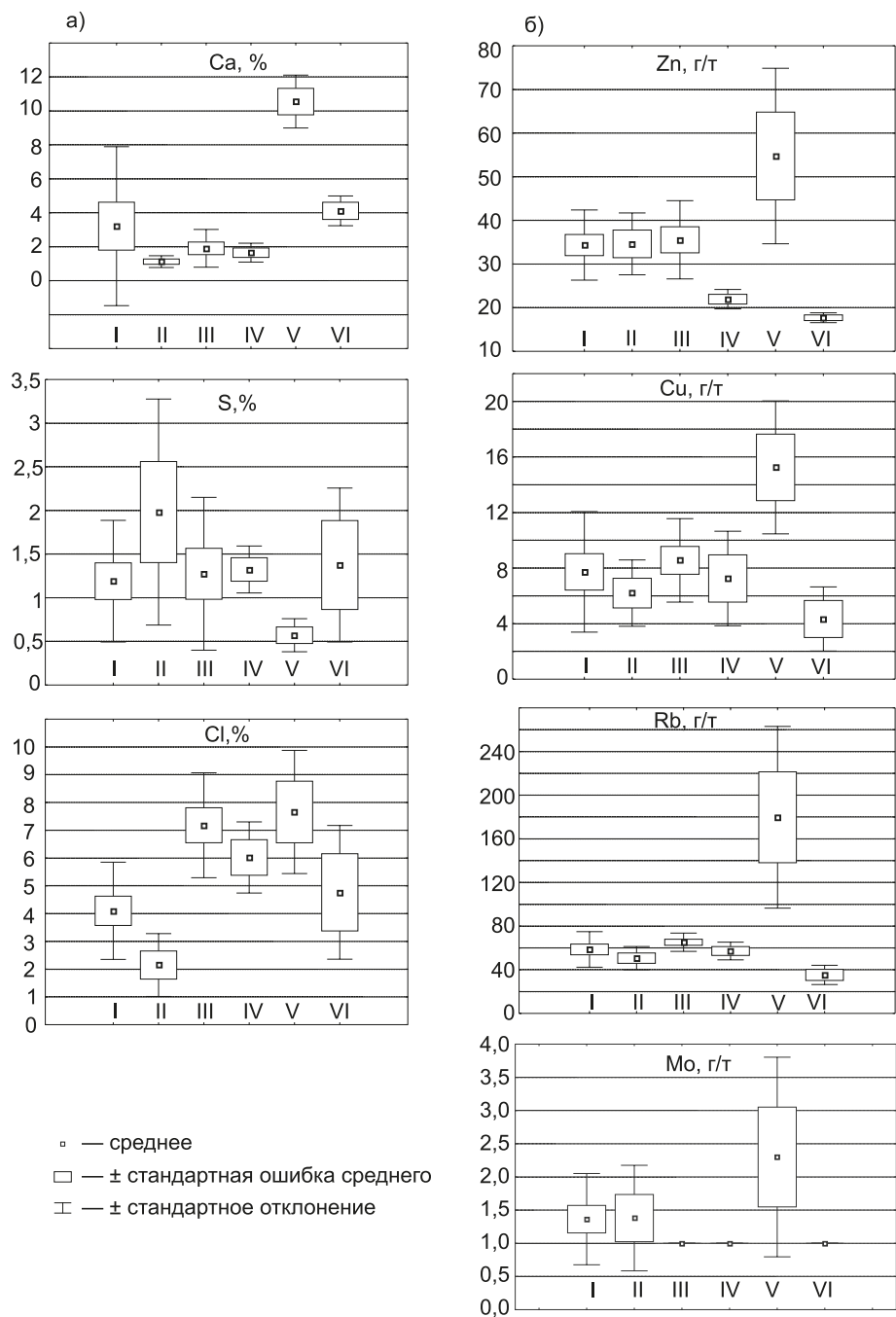


Рис. 4. Сравнение статистических характеристик содержаний S, Cl, Ca, Zn, Rb, Cu, Mo в глинах крымских озер и Мертвого моря

а — солеобразующие химические элементы, б — микроэлементы.

По горизонтальной оси — тип объекта: I — морские озера Тобечик, Аджиголь, Кучук-Аджиголь; II — континентальные озера Марфовка, Ерофеевка, Киркояш, Ачи; III — оз. Кояш; IV — оз. Чокрак; V — Мертвое море; VI — озера Саки, Сасык, Ойбурское.

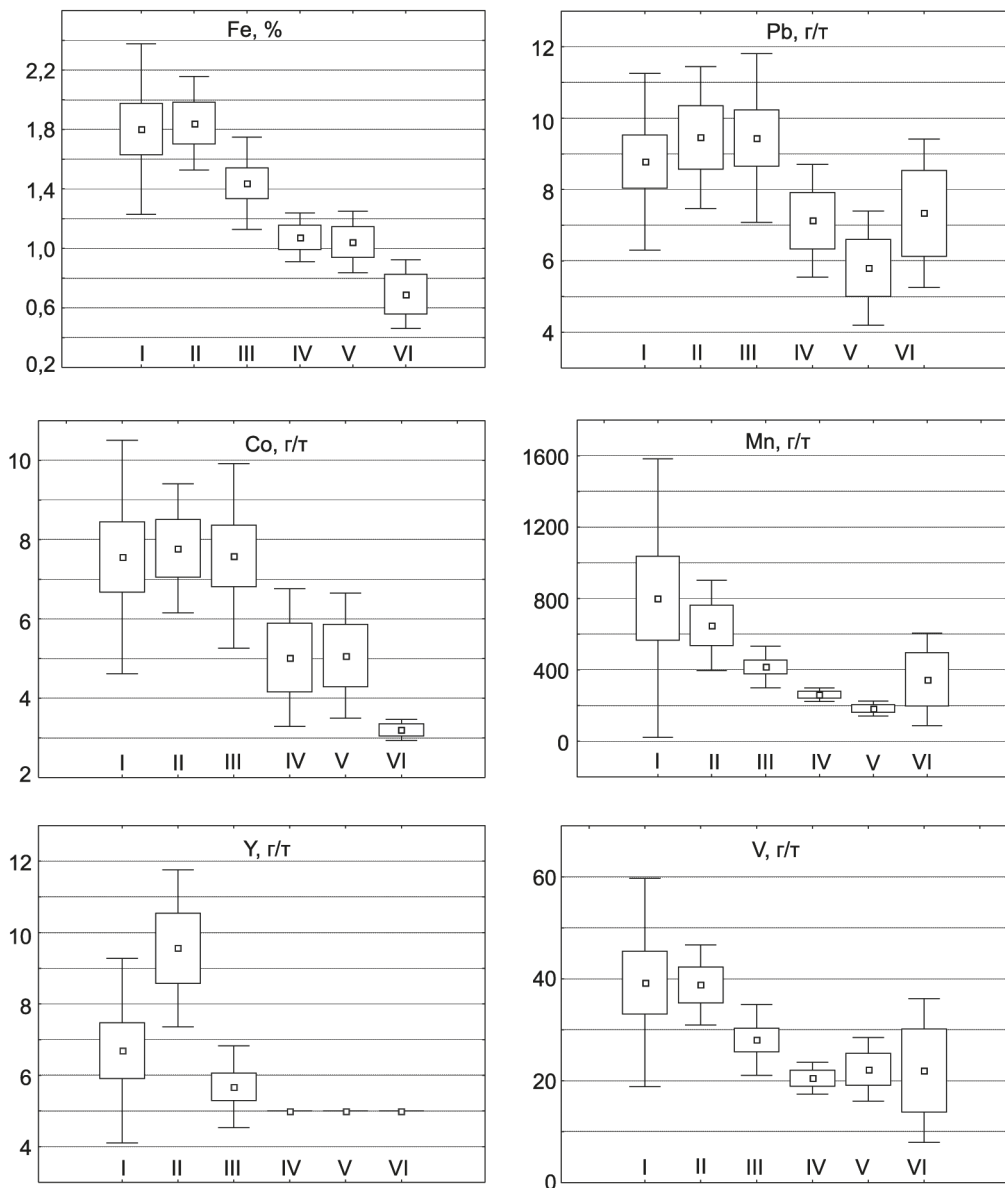


Рис. 5. Сравнение статистических характеристик содержаний Fe, Co, Y, Pb, Mn, V в глинах крымских озер и Мертвого моря

Условные обозначения см. на рис. 4.

среди озер Керченского полуострова. Прочие керченские озера объединены в две группы: морские и континентальные.

При интерпретации учитывалось, что химические элементы находятся или в составе твердой минеральной фазы пелоидов, или в составе коллоидного комплекса и межзерновой рапы. Понятно, что хлор и сера соответствуют солевой

компоненте пелоидов. Основные минералы-концентраторы хлора — хлориды (преимущественно галит), а серы — сульфаты (преимущественно гипс). Металлы в пелоидах могут входить в состав алюмосиликатов. Это слюды, хлориты, каолинит и монтмориллонит, которые составляют так называемую «глинистую» компоненту осадков. Кроме того, металлы могут присутствовать в коллоидном комплексе и грязевом растворе пелоидов.

Отчетливые различия химического состава грязей проявились по содержаниям S, Cl, Ca, которые относятся к числу главных солеобразующих химических элементов в пелоидах.

Очевидно, что относительно низкое содержание серы в грязях Мертвого моря (рис. 4, а, тип V) обусловлено относительно низким количеством сульфатов в них, что согласуется с установленным минерально-солевым типом этих грязей — хлоридно-карбонатные (см. раздел 5); надо полагать, что именно с преобладанием карбонатов в грязях Мертвого моря связано сравнительно высокое содержание кальция в их составе. А высокое содержание хлора в пелоидах Мертвого моря сопряжено с повышенной долей хлоридов в их составе.

Соответственно различия в содержаниях солеобразующих S, Cl и Ca в пелоидах Мертвого моря и крымских озер обеспечиваются влиянием тех же геологических факторов, что и различия их минерально-солевого состава (см. раздел 5). Это разный состав главных источников питания соляных озер: глубинные хлоридно-кальциевые рассолы Мертвого моря, и обогащающиеся сульфат-ионом естественные стоки водосборной площади, и подземные воды Крыма.

По содержанию в пелоидах S и Cl ярко разделились крымские озера континентального и морского генезиса (рис. 4, а, типы II и I, III, IV, VI соответственно). Это также увязывается с различиями состава источников питания озер. Континентальные озера питаются исключительно атмосферными осадками, выпадающими на водосборной площади, и подземными стоками, обогащающимися сульфат-ионом, а в рапе озер морского генезиса концентрация сульфат-иона разбавляется за счет поступления еще и морских вод из Черного и Азовского морей. В последнем случае соотношение S и Cl определяется соотношением морских и континентальных вод, поступающих в озерную котловину, что приводит к обратной зависимости между содержаниями этих элементов в грязях (см. рис. 4, а).

Следует отметить, что вариации S, Cl, и Ca в изученных пелоидах хорошо согласуются с химическим составом рапы озер, который определяется составом источников питания. Так, по составу рапы крымские озера относятся к сульфатному типу: морского генезиса — к хлормagneиевому подтипу, континентального генезиса — к сульфатнатриевому подтипу [6]; Мертвое море соответствует хлоридно-кальциевому типу озер [20].

Различие составов источников питания соляных озер в связи с региональной геотектонической обстановкой проявилось и в яркой микроэлементной специфике пелоидов Мертвого моря (Zn — 40–80, Rb — 75–270, Cu — 11–22, Mo — 1–3,7 г/т) по сравнению с крымскими озерами (Zn — 15–58, Rb — 25–80, Cu — 3–18, Mo — 1–3,0 г/т) (рис. 4, б). Известно, что хлорсодержащие рассолы способны экстрагировать и транспортировать металлы, в частности медь, цинк и молибден [8]. Очевидно, что обозначенное отличие грязей Мертвого моря связано с глубинными металлоносными рассолами хлоркальциевого состава, питающими этот бассейн.

Влияние локальных геологических факторов на состав пелоидов проявилось в вариациях содержаний железа и ряда микроэлементов — Co, Mn, Y, Pb, V (рис. 5). Отчетливо выделяются грязи озер южной части Керченского полуострова (рис. 5, типы I, II, III) на фоне всех прочих объектов. (Озера юга Керченского п-ова: Fe — 0,7–2,5 %, Co — 3–13, Mn — 160–3100, Y — 5–14, Pb — 5–13, V — 17–94 г/т; прочие объекты: Fe — 0,4–1,3 %, Co — 3–7, Mn — 150–646, Y — 5, Pb — 5–9, V — 9–37 г/т.) В данном случае следует обратить внимание на рудно-геохимическую специализацию железоносных киммерийских отложений, проявленных только в южной половине Керченского полуострова: перечисленные микроэлементы типичны для железорудных пород. Несомненно, в данном случае на состав пелоидов влияет геохимическая специализация киммерийских песчаников и глин, послуживших источником терригенного материала, сносимого в озерную котловину, и микроэлементов, обогащающих поверхностные и подземные стоки. Озера Чокрак, Саки, Сасык, Ойбурское (рис. 5, типы IV и VI) расположены вне зоны развития указанных пород, поэтому в пелоидах этих озер, как и Мертвого моря, содержание названных элементов заметно ниже.

Влияние обозначенных выше геологических факторов отражается и в составе элементных ассоциаций пелоидов. Структура ассоциаций, полученная при статистической обработке данных методом главных компонент, выражена двумя факторами:

$$I_{28} \frac{+Cl_{59}}{-Fe_{92}Ti_{92}Cr_{90}K_{82}V_{75}Pb_{68}Y_{65}Mn_{52}As_{51}Co_{47}Zr_{38}Zn_{36}},$$

$$II_{16} \frac{+S_{44}}{-Rb_{81}Cu_{79}Ca_{74}Zn_{72}Mo_{51}Ni_{39}Cl_{38}U_{36}}.$$

Здесь над чертой указаны элементы, имеющие значимые положительные нагрузки на фактор, под чертой — отрицательные; цифры в основании символов — численные значения нагрузок, умноженные на 100. Значимы факторные нагрузки, превышающие по модулю 0,33 (при уровне значимости $\alpha=0,05$).

Первый фактор соответствует процессу седиментации, при котором в осадке накапливаются две составляющих: глинистая терригенная (ассоциация черных и цветных металлов с участием калия) и солевая (хлоридная) хемогенная. Количество хлоридов в осадке регулируется динамикой кристаллизации солей из надгрязевого рассола, а состав и доля глинистой компоненты зависят от состава и интенсивности поступления в озеро глинистых продуктов выветривания окружающих горных пород. Таким образом, первый фактор отражает *состав и соотношение поверхностных источников вещества пелоидов*.

По первому фактору отделились пелоиды крымских озер, ассоциирующих с железоносными киммерийскими породами (рис. 6). Здесь ярко проявилась уже указанная выше геохимическая специфика пород в районе озер Марфовка, Ерофеевка, Ачи, Киркояш, Кояш, Тобечик, Аджиголь, Кучук-Аджиголь.

Второй фактор отражает обозначенную выше специфику *состава подземных источников питания соляных озер* двух регионов: существенно сульфатные воды Крыма, с одной стороны, и хлоркальциевые металлоносные рассолы Мертвого моря — с другой. Пелоиды двух регионов отчетливо разделились по второму фактору (см. рис. 6).

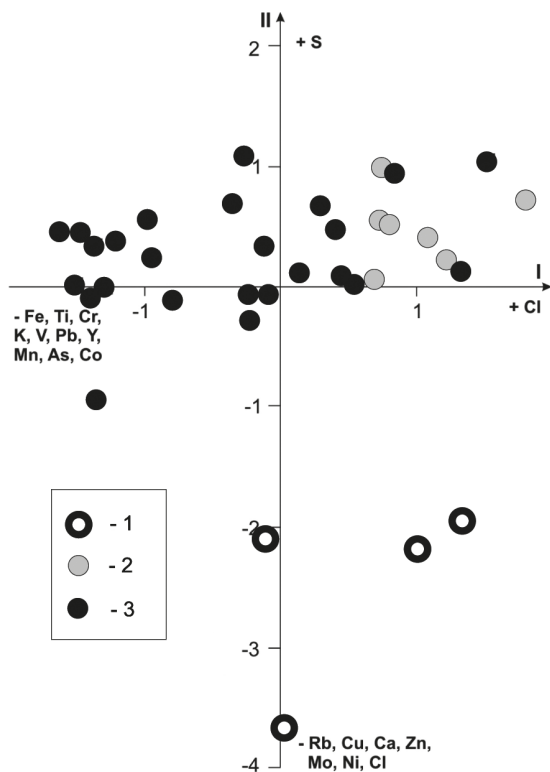


Рис. 6. Фигуративные точки пелоидов соляных озер на диаграмме значений I и II факторов

1–2 — озера, не ассоциирующие с железорудными породами:
1 — Мертвое море, 2 — крымские озера; 3 — крымские озера, ассоциирующие с железорудными киммерийскими породами.

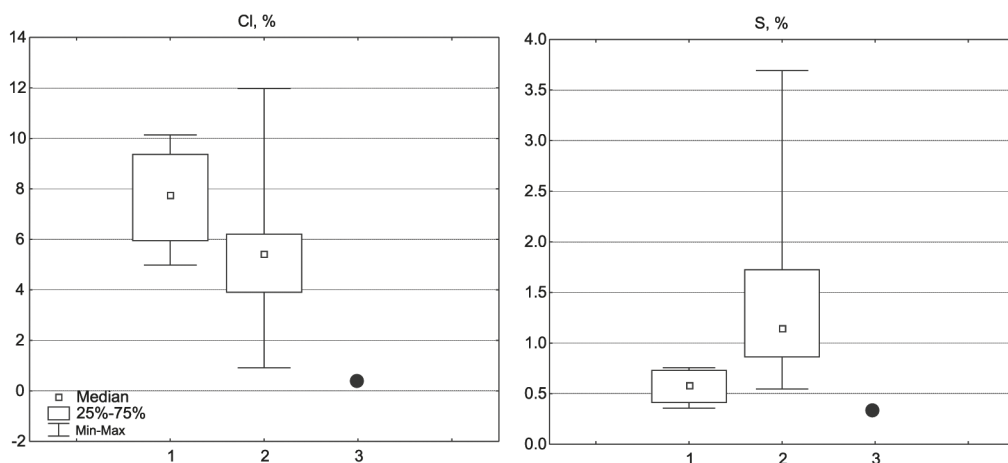


Рис. 7. Статистические характеристики содержаний Cl и S в грязях озера Кучук-Адзиголь по сравнению с прочими объектами

По горизонтальной оси — объекты: 1 — Мертвое море; 2 — крымские озера, за исключением оз. Кучук-Адзиголь; 3 — оз. Кучук-Адзиголь (на диаграмме кружок соответствует содержанию элемента в единственной пробе).

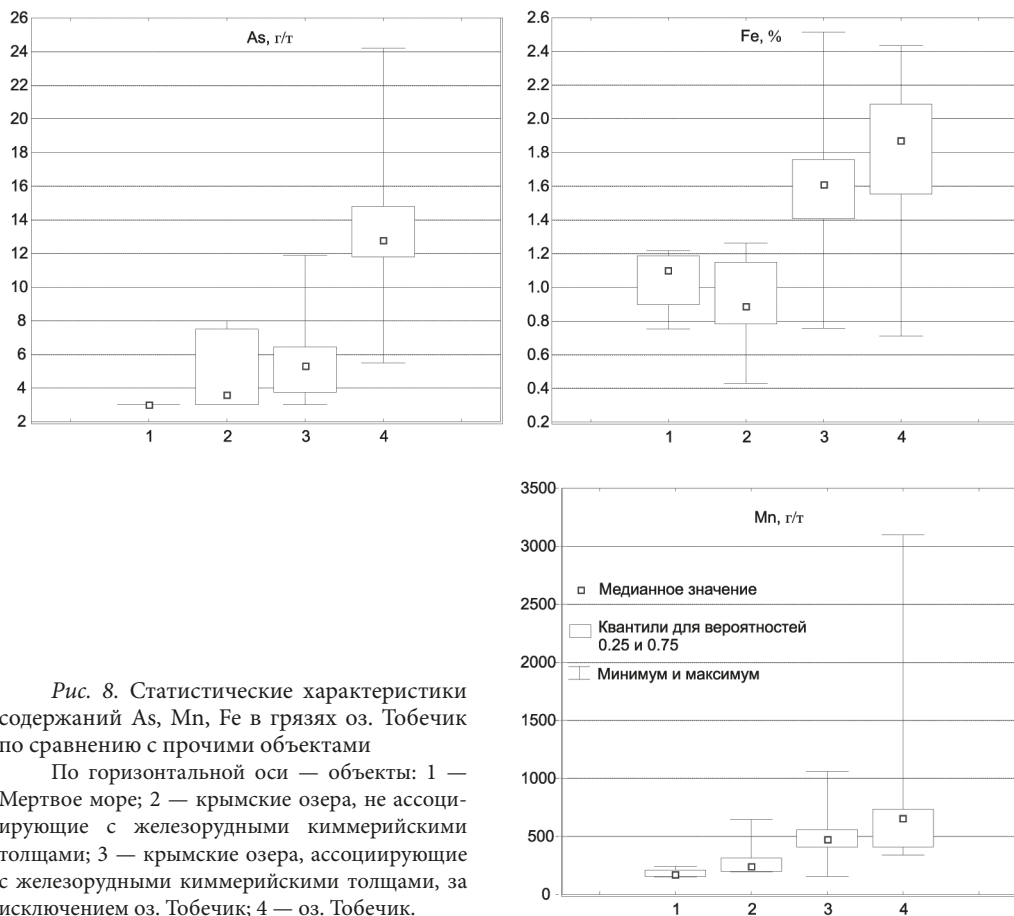


Рис. 8. Статистические характеристики содержаний As, Mn, Fe в глинах оз. Тобечик по сравнению с прочими объектами

По горизонтальной оси — объекты: 1 — Мертвое море; 2 — крымские озера, не ассоциирующие с железорудными киммерийскими толщами; 3 — крымские озера, ассоциирующие с железорудными киммерийскими толщами, за исключением оз. Тобечик; 4 — оз. Тобечик.

Антропогенное влияние на химический состав пелоидов выявлено для озер Кучук-Аджиголь и Тобечик. Пелоиды озера Кучук-Аджиголь резко выделяются низкими содержаниями Cl и S (рис. 7), что согласуется с их минерально-солевым составом и связано с опреснением озера за счет техногенных и бытовых вод (см. раздел 5).

Пелоиды озера Тобечик выделяются аномально высокими содержаниями As, Fe, Mn (рис. 8). В связи с этим следует обратить внимание на то, что озеро Тобечик располагается в 10 км от карьера железорудного месторождения Камыш-Бурун и железорудного комбината по переработке руд (см. рис. 1). Руды марганцево-железные оксидно-силикатные с примесью мышьяка и фосфора [23]. Мы полагаем, что характерная ассоциация (As–Fe–Mn) элементов с повышенными содержаниями в пелоидах оз. Тобечик обусловлена промышленным загрязнением вследствие деятельности карьера и железорудного предприятия.

8. Заключение

Проведенные исследования позволили выявить геологические и антропогенные факторы, влияющие на состав пелоидов соляных озер, и установить характер этого влияния.

Геологические факторы.

1. *Региональные геологические условия* определяют ведущий тип источников питания соляных озер (и, как следствие, вещественный состав пелоидов):

- а) в случае рифтогенной впадины Мертвого моря — глубинные рассолы;
- б) для крымских озер Альпийско-Гималайского коллизионного пояса — естественные стоки, подземные воды и морские воды.

2. *Состав окружающих пород и их рудно-геохимическая специализация* определяют состав хемогенной (солевой) и терригенной (глинистой) компонент пелоидов:

- а) галит-карбонатные толщи обеспечивают хлоридно-кальциевый состав рассолов, питающих Мертвое море, при этом хлоридные рассолы активно экстрагируют и переносят металлы; разгрузка таких рассолов во впадину Мертвого моря определяет хлоридно-карбонатный тип пелоидов с характерной Cu—Rb—Zn—Mo ассоциацией;

- б) пиритсодержащие глины и гипсоносные известняки в районе развития крымских озер обеспечивают обогащение сульфат-ионом вод, питающих эти озера и, как следствие, существенно сульфатный тип пелоидов;

- в) железорудная специализация киммерийских отложений Керченского полуострова определяет Fe—V—Mn—Co—Y—Pb специализацию пелоидов озер южной части Керченского полуострова.

3. *Условия залегания грязевого слоя* влияют на гранулометрические характеристики пелоидов: самые грубые пелоиды формируются в поверхностном слое осадка в зоне периодически высыхающей рапы; тонкие пелоиды сохраняются под постоянным слоем рапы и внутри грязевой толщи.

Антропогенные факторы.

1. Опреснение озера Кучук-Аджиголь вследствие *загрязнения бытовыми и техногенными сточными водами* приводит к обессоливанию (отсутствию галита) пелоидов.

2. *Длительная эксплуатация грязей озера Саки* привела к формированию грубых пелоидов в связи с образованием кристаллического гипса вследствие изменения гидрохимического режима озера.

3. *Разработка железорудного месторождения* привела к промышленному загрязнению пелоидов озера Тобечик мышьяком, марганцем, железом.

Работа выполнена при поддержке ресурсных центров «Рентгенодифракционные методы исследования» и «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета.

Литература

1. Nikipelova E. M. Monitoring results of colloidal-chemical properties of silt sulfide systems of Kuyalnitskiy estuary and lake Chokrak // Odes'kyi Politechnichniy Universytet. Pratsi. 2009. Vol.1(31). P.169–173.

2. Никипелова Е. М. Роль гранулометрического состава иловых пелоидных систем при их бальнеологической оценке // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2010. Т. 23. С. 188–200.
3. Olejnik V. A., Panko A. V., Nikipelova E. M., Alekseenko N. A., Kovzun I. G. Influence of Nanomaterials on Biological Activity of Marine Pelagic Sediments (peloids) // Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties. 2012. Vol. 1(2). P. 3.
4. Курнаков Н. С., Кузнецов В. Г., Дзэнс-Литовский А. И., Равич М. И. Соляные озера Крыма. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936.
5. Безмен И. В. Сравнительная характеристика грязей Мертвого моря и озера Саки // Технический отчет химической лаборатории Сакской ГГРЭС. 2012.
6. Понизовский А. М. Соляные ресурсы Крыма. Симферополь: Крым, Симферополь, 1965.
7. Адилев В. Б., Бережнов Е. С., Бобровницкий И. П., Гусаров И. И., Давыдова О. Б. Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации: методические указания. Москва: Российский научный центр восстановительной медицины и курортологии, 2000.
8. Басков Е. А., Беленицкая Г. А., Романовский С. И. Литогеодинамика и минералогия осадочных бассейнов. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
9. Геология СССР. М.: Недра, 1971.
10. Иванов А. И., Милеев И. В. Геологические экскурсии по Керченскому полуострову. Л.: Горный институт, 1966.
11. Рудные месторождения СССР. М.: Недра, 1978.
12. Pallas P. S. Tableau physique et topographique de la Tauride. Nova Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. T. X. Saint Petersburg, 1792.
13. Pallas P. S. Tableau physique et topographique de la Tauride tiré du journal d'un voyage fait en 1794. S. Petersburg, 1795. 59 с.
14. Гарайби Р. М. Геохимия рассолов Мертвого моря в связи с возможностью их промышленного использования. М.: Изд-во МГУ, 1976.
15. Bentor Y. K. Salt deposits of the Dead Sea region // Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 1968. Vol. 88. P. 139–156.
16. Беленицкая Г. А. Соленосное чудо планеты // Природа. 2013. Т. 6. С. 21–32.
17. Bentor Y. K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age // Geochemica Cosmochim. Acta. 1961. Vol. 25. P. 239–260.
18. Рифт Мертвого моря. Избранные доклады Международного симпозиума по рифту Мертвого моря. Иерусалим, 1979.
19. Котова И. К., Каюкова Е. П., Мордухай-Болтовская Л. В., Платонова Н. В., Котов С. Р. Закономерности формирования состава иловых грязей Мертвого моря и соляных озер Крыма // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. 2015. Вып. 2. С. 85–106.
20. Беленицкая Г. А. Происхождение солей, диапиров и рассолов Мертвого моря // Природа. 2013. Т. 8. С. 28–37.
21. Береговской сельсовет строит озерный комплекс Кучук-Адзиголь под Феодосией // Курорты и туризм. 2008. URL: <http://www.aq-media.info/node/2936> (дата обращения: 16.07.2017).
22. Алексаикин И. В., Гулов О. А., Горбунов Р. В., Ершов А. С. Сравнительная характеристика физико-химических показателей Сакского и Отар-Мойнакского озер // Культура народов Причерноморья. 2004. Т. 2. С. 7–11.
23. Горная энциклопедия. М., 1984.

Для цитирования: Котова И. К., Котов С. Р., Каюкова Е. П., Мордухай-Болтовская Л. В. Влияние геологических и антропогенных факторов на состав пелоидов современных соляных озер // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. Вып. 2. С. 172–191. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2017.204

References

1. Nikipelova E. M. Monitoring results of colloidal-chemical properties of silt sulphide systems of Kuyalnitskiy estuary and lake Chokrak. *Odessa Polytechnical University*, 2009, vol. 1(31), pp. 169–173. (In Ukrainian)
2. Nikipelova E. M. Rol' granulometricheskogo sostava ilovykh peloidnykh sistem pri ikh bal'neologicheskoy otsenke [Role of grain size composition of peloid systems at their balneological assessment]. *Sci. Notes of Tavria National University, ser. "Biology, Chemistry"*, 2010, vol. 23(62), no. 1, pp. 188–200. (In Russian)
3. Olejnik V. A., Panko A. V., Nikipelova E. M., Alekseenko N. A., Kovzun I. G. Influence of Nanomaterials on Biological Activity of Marine Pelagic Sediments (peloids). *Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties*, 2012, vol. 1(2), pp. 3.

4. Kurnakov N. S., Kuznetsov V. G., Dzents-Litovskiy A. I., Ravitch M. I. *Solyanye ozera Kryma* [Crimean salt lakes]. Moscow-Leningrad, Academy of Sciences, 1936, 278 p. (In Russian)
5. Bezmen I. V. *Sravnitel'naya kharakteristika gryazey Mertvogo morya i ozera Saki* [Comparative characteristics of the Dead Sea and Lake Saky muds]. *Tekhnicheskii otchet khimicheskoy laboratorii Sakskey GGRES* [Technical report of chemical laboratory of Saky water-power plant], 2012. (In Russian)
6. Ponizovsky A. M. *Solyanye resursy Kryma* [Salt resources of Crimea]. Simferopol, Crimea, 1965, 263 p. (In Russian)
7. Adilov V. B., Berezhnov E. S., Bobrovnikskiy I. P., Gusarov I. I., Davydova O. B. *Klassifikatsiya mineral'nykh vod i lechebnykh gryazey dlya tseyey ikh sertifikatsii. Metodicheskie ukazaniya* [Classification of mineral waters and therapeutic muds for their certification. Guidelines]. Moscow, Russian Ministry of Health, 2000. (In Russian)
8. Baskov E. A., Belenitskaya G. A., Romanovsky S. I. *Litogeodinamika i minerageniya osadochnykh basseynov* [Lithogeodynamics and minerageny of sedimentary basins]. St. Petersburg, VSEGEI Press, 1998, 480 p. (In Russian)
9. *Geologiya SSSR* [The geology of the USSR]. 1971. (In Russian)
10. Ivanov A. I., Mileev I. V. *Geologicheskie ekskursii po Kerchenskomu poluostrovu* [Geological excursion on the Kerch Peninsula]. Leningrad, Mineral Resources Institute, 1966, 42 p. (In Russian)
11. *Rudnye mestorozhdeniya SSSR* [Ore deposits of the USSR]. Moscow, Nedra, 1977. (In Russian)
12. Pallas P. S. *Tableau physique et topographique de la Tauride*. *Nova Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*. T. X, Saint Petersburg. 1792. (In French)
13. Pallas P. S. *Tableau physique et topographique de la Tauride tiré du journal d'un voyage fait en 1794*. S. Petersbourg. 1795, 59 p. (In French)
14. Garaybi R. M. *Geokhimiya rassolov Mertvogo morya v svyazi s vozmozhnost'yu ikh promyshlennogo ispol'zovaniya* [Geochemistry of brines of the Dead Sea in connection with the possibility of their industrial use]. Moscow, MSU Uni. Press, 1976. (In Russian)
15. Bentor Y. K. Salt deposits of the Dead Sea region. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, 1968, vol. 88, pp. 139–156.
16. Belenitskaya G. A. Solenosnoe chudo planety [The Salty Miracle of the Planet]. *Priroda* [Nature], 2013, vol. 6, pp. 21–32. (In Russian)
17. Bentor Y. K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. *Geochemica Cosmochim. Acta*, 1961, vol. 25, pp. 239–260.
18. *Rift Mertvogo morya. Izbrannyye doklady Mezhdunarodnogo simpoziuma po riftu Mertvogo morya* [Rift of The Dead Sea. Int. Symposium on the Rift of The Dead Sea]. Jerusalem, 1979. (In Russian)
19. Kotova I. K., Kayukova E. P., Mordukhai-Boltovskaya L. V., Platonova N. V., Kotov S. R., Zakonomernosti formirovaniya sostava ilovykh gryazey Mertvogo morya i solyanykh ozer Kryma [Pattern of the composition formation of oozy mud from the Dead Sea and salt lakes of Crimea]. *Vestnik SPbSU. Ser. 7. Geology. Geography*, 2015, iss. 2(7), pp. 85–106. (In Russian)
20. Belenitskaya G. A. Proiskhozhdenie soley, diapirov i rassolov Mertvogo morya [The origin of salt diapirs and the Dead Sea brine]. *Priroda* [Nature], 2013, no. 8, pp. 28–37 (In Russian)
21. Beregovskoy sel'sovet stroit ozernyy kompleks Kuchuk-Adzhigol' pod Feodosiey [Beregovo village council builds a lake complex Kuchuk-Adzhigol near Feodosiya]. *Kurorty i turizm* [Resorts and tourism], 2008. Available at: <http://www.aq-media.info/node/2936> (accessed: 16.07.2017) (In Russian)
22. Aleksashkin I. V., Gulov O. A., Gorbunov R. V., Ershov A. S. *Sravnitel'naya kharakteristika fiziko-khimicheskikh pokazateley Sakskey i Otara-Moinakskoy ozer* [Comparative characteristics of the physico-chemical parameters of Saky and Otara-Moinakskoy lakes]. *Kul'tura narodov Prichernomor'ya* [Culture of Black Sea People], 2004, no. 56, vol. 2, pp. 7–11. (In Russian)
23. *Gornaya entsiklopediya* [Mountain encyclopedia]. Moscow, 1984. (In Russian)

For citation: Kotova I. K., Kotov S. R., Kayukova E. P., Mordukhai-Boltovskaya L. V. The impact of environmental and anthropogenic factors on composition of peloids in modern salt lakes. *Vestnik SPbSU. Earth Sciences*, 2017, vol. 62, issue 2, pp. 172–191. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2017.204

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2016 г.

Статья рекомендована в печать 1 марта 2017 г.

Контактная информация

Котова Ирина Клавдиевна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент;
kotova_i@mail.ru

Котов Сергей Робертович — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник;
kotov_s@yahoo.co.uk

Каюкова Елена Павловна — старший преподаватель; epkayu@gmail.com

Мордухай-Болтовская Людмила Владимировна — магистр; friendofdragons@mail.ru

Kotova Irina K. — PhD, Associate professor; kotova_i@mail.ru

Kotov Sergey R. — PhD, Researcher; kotov_s@yahoo.co.uk

Kayukova Elena P. — Senior Lecturer; epkayu@gmail.com

Mordukhai-Boltovskaya Lyudmila V. — Postgraduate student; friendofdragons@mail.ru